

## Ćw. 4. Badanie tranzystora bipolarnego

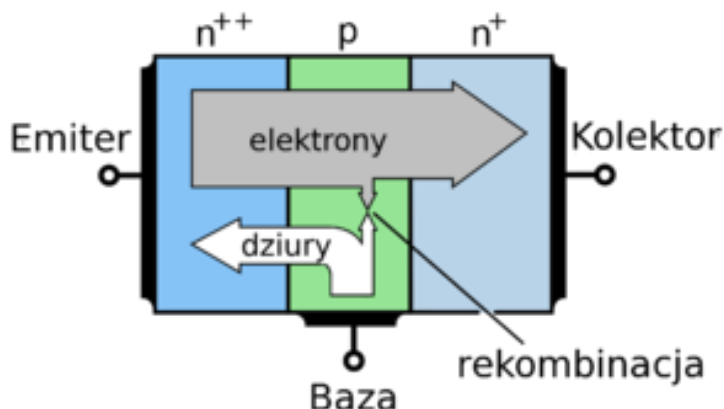
### Wprowadzenie

Tranzystor jest czynnym elementem elektronicznym, mającym zdolność wzmacniania lub przełączania sygnałów elektrycznych. Zbudowany jest z trzech warstw półprzewodnika o różnym typie przewodnictwa (p lub n). Charakteryzuje się tym, że niewielki prąd płynący pomiędzy dwiema jego elektrodami (nazywanymi bazą i emiterem) steruje większym prądem płynącym między emiterem a trzecią elektrodą (nazywaną kolektorem).

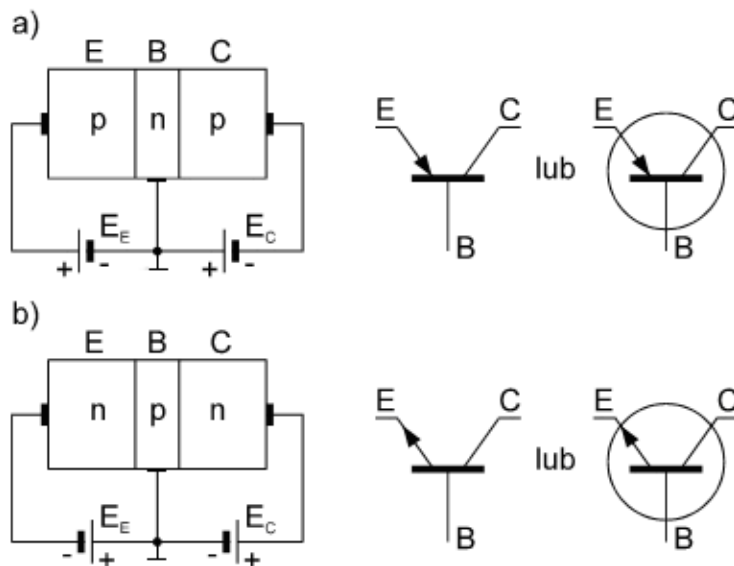
Tranzystor bipolarny składa się z trzech warstw półprzewodnika o różnym typie przewodnictwa: p-n-p lub n-p-n. W ten sposób tworzą się dwa złącza p-n: baza-emiter (nazywane krótko złączem emitera) oraz baza-kolektor (nazywane złączem kolektora). Poszczególne warstwy noszą nazwy:

- emiter (oznaczony przez E) warstwa silnie domieszkowana,
- baza (oznaczona przez B) warstwa cienka i słabo domieszkowana,
- kolektor (oznaczony przez C) dwie warstwy – jedna słabo druga silnie domieszkowana.

Ze względu na kolejność warstw półprzewodnika rozróżniamy dwa typy tranzystorów bipolarnych: pnp i npn. Ze względu na rodzaj materiału półprzewodnikowego użytego do wytwarzania tranzystory bipolarne dzielimy na krzemowe (obecnie częściej stosowane) i germanowe. Na rys. 1 przedstawiono budowę oraz przepływ nośników prądu w tranzystorze npn, a na rys. 2 polaryzację oraz symbole graficzne tranzystorów npn i pnp.



Rys. 1. Budowa oraz przepływ nośników prądu w tranzystorze bipolarnym npn.



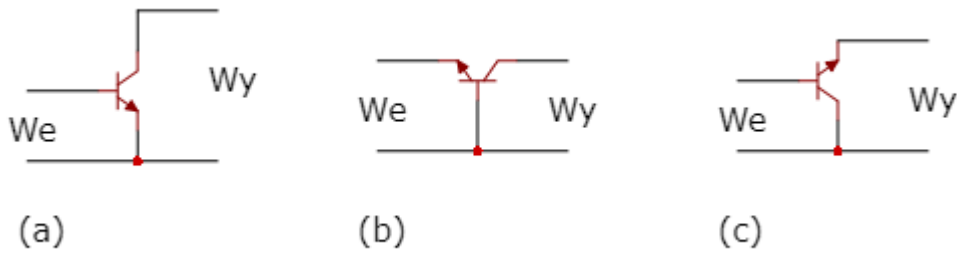
Rys. 2. Uproszczona struktura, polaryzacja i symbole tranzystora bipolarnego p-n-p (a) i n-p-n (b).

W stanie aktywnym (patrz rys. 1) złącze emiter-baza jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a złącze baza-kolektor – w kierunku zaporowym. Napięcie baza-emiter powoduje przepływ (wstrzykiwanie) nośników większościowych emitera przez to złącze do bazy – (elektrony w tranzystorach npn lub dziury w tranzystorach pnp). Nośników przechodzących w przeciwną stronę, od bazy do emitera jest niewiele, ze względu na słabe domieszkowanie bazy. Nośniki wstrzyknięte z emitera do obszaru bazy dyfundują do obszarów o mniejszej ich koncentracji w kierunku kolektora, trafiają do obszaru złącza baza-kolektor, a tu na skutek pola elektrycznego w obszarze zubożonym są przyciągane do kolektora. W rezultacie, po przyłożeniu do złącza baza – emiter napięcia w kierunku przewodzenia, popłynie niewielki prąd między bazą a emiterem, umożliwiający przepływ dużego prądu między kolektorem a emiterem. Za sygnał sterujący prądem kolektora można uważać zarówno prąd bazy, jak i napięcie baza-emiter. Zależność między tymi dwiema wielkościami opisuje charakterystyka wejściowa tranzystora, będąca w zasadzie eksponentylną charakterystyką złącza p-n spolaryzowanego w kierunku przewodzenia.

Prąd bazy składa się z dwóch głównych składników: prądu rekombinacji i prądu wstrzykiwania. Prąd rekombinacji to prąd powstały z rekombinacji w bazie nośników wstrzykniętych z emitera do bazy z nośnikami komplementarnymi. Jest tym mniejszy im cieńsza i słabiej domieszkowana jest baza. Prąd wstrzykiwania jest to prąd złożony z nośników wstrzykniętych z bazy do emitera, jego wartość zależy od stosunku koncentracji domieszek w obszarze bazy i emitera.

Napięcia panujące pomiędzy poszczególnymi elektrodami tranzystora oznacza się  $U_{CE}$ ,  $U_{BE}$  oraz  $U_{CB}$ . Gdzie na przykład  $U_{CE}$  oznacza napięcie pomiędzy kolektorem i emiterem. Prądy płynące przez emiter, bazę i kolektor tranzystora oznacza się odpowiednio jako  $I_E$ ,  $I_B$ , oraz  $I_C$ .

Ze względu na sposób zasilania tranzystora rozróżniamy trzy układy pracy: ze wspólnym kolektorem (WC), wspólnym emiterem (WE) i wspólną bazą (WB).



Rys. 3. Układy pracy tranzystora: (a) ze wspólnym emiterem (WE), (b) ze wspólną bazą (WB), (c) ze wspólnym kolektorem (WC).

W układzie WE możliwe jest wykonanie rozmaitych charakterystyk statycznych. Zadawanie różnych wartości napięcia  $U_{CE}$  przy ustalonych wartościach stałego prądu bazy  $I_B$  i pomiar natężenia prądu  $I_C$  oraz napięcia  $U_{BE}$ , umożliwia wyznaczenie:

- rodziny charakterystyk wyjściowych tranzystora:  $I_C = f(U_{CE}, I_B)$ , gdzie  $I_B = \text{const.}$ ,
- rodziny charakterystyk zwrotnych tranzystora:  $U_{BE} = f(U_{CE}, I_B)$ , gdzie  $I_B = \text{const.}$

Z kolei zadawanie różnych wartości prądu bazy  $I_B$  przy ustalonych wartościach napięcia  $U_{CE}$  umożliwia wyznaczenie:

- rodziny charakterystyk wejściowych tranzystora:  $U_{BE} = f(U_{CE}, I_B)$ , gdzie  $U_{CE} = \text{const.}$ ,
- rodziny charakterystyk przejściowych tranzystora:  $I_C = f(U_{CE}, I_B)$ , gdzie  $U_{CE} = \text{const.}$

### Podstawowe parametry tranzystora bipolarnego

- *Wielkosygnalowy współczynnik wzmocnienia prądowego  $\beta$*  - stosunek prądu kolektora  $I_C$  do prądu bazy  $I_B$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (1)$$

- *Małosygnalowy współczynnik wzmocnienia prądowego*

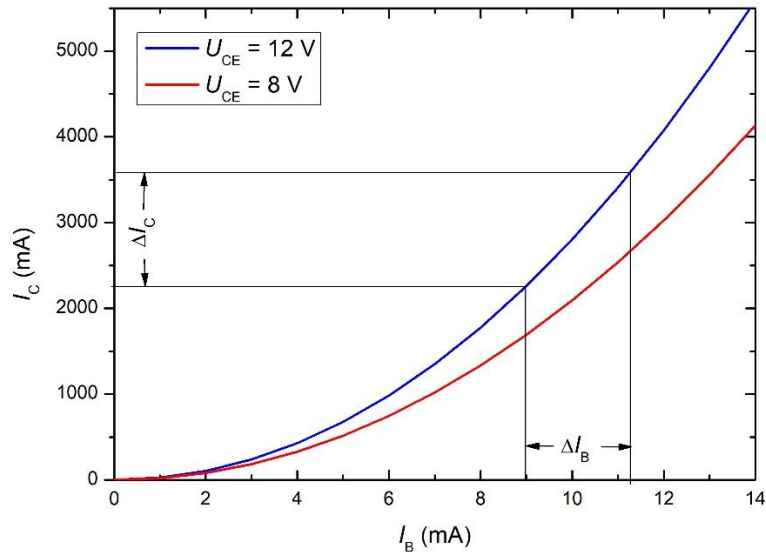
$$\beta_0 = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (2)$$

określany jako stosunek przyrostu prądu kolektora do przyrostu prądu bazy. Dla prądów sinusoidalnie zmiennych będzie to stosunek amplitud tych prądów.

- *Dynamiczna rezystancja wejściowa*

$$R_{CE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C}$$

Do wyznaczania współczynników  $\beta$  oraz  $\beta_0$  można wykorzystać charakterystyki prądowe tranzystora. Przykład takiej charakterystyki oraz sposób wyznaczania małosygnalowego współczynnika wzmocnienia prądowego przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Charakterystyki  $I_C = f(I_B)$  dla dwóch wartości napięcia  $U_{CE}$ .

Celem ćwiczenia jest wykonanie charakterystyki prądowej  $I_C = f(I_B)$  przy ustalonej wartości napięcia  $U_{CE}$  tranzystora bipolarnego pracującego w układzie ze wspólnym emiterem oraz wyznaczenie małosygnalowego współczynnika wzmocnienia prądowego określonego wzorem (2).

**Zagadnienia do kolokwium:**

1. Budowa i działanie złącza npn i pnp.
2. Podstawowe układy pracy tranzystorów.
3. Podstawowe parametry tranzystorów.

**Literatura:**

W. Pietrzyk (red), *Laboratorium z elektrotechniki*, Wydawnictwa Uczelniane PL, 2003